昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*，April 2008，51(3)：284－289 ISSN 0454-6296

松墨天牛成虫对幼虫虫粪挥发性物质的触角电位反应及林间驱避试验

李水清[1,2]**，张钟宁**[2,*]

（1. 长江大学化学与环境工程学院，湖北荆州 434023；
2. 中国科学院动物研究所，农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室，北京 100101）

摘要：为了研制松墨天牛 *Monochamus alternatus* Hope 驱避剂，本文利用触角电位技术和田间试验的方法研究了松墨天牛雌雄成虫对幼虫虫粪挥发性物质的触角电位反应及幼虫虫粪己烷提取物、合成化合物混合物的林间驱避作用。结果表明：α-蒎烯、β-蒎烯、3-蒈烯、柠檬烯和长叶烯均能引起松墨天牛雌雄成虫一定的触角电生理反应，而4-甲基-2，6-二叔丁基苯酚不能引起松墨天牛雌雄成虫的触角电生理反应。林间驱避试验结果说明，幼虫虫粪的己烷提取物处理过的树干上的刻槽数明显少于对照树干上的刻槽数，二者具有极显著差异；有合成化合物的混合物存在的诱捕器诱捕到的雌虫数（平均值 3.80 ± 1.02）与对照诱捕到的雌虫数（平均值 16.80 ± 1.16）差异极显著。结果显示 α-蒎烯、β-蒎烯、3-蒈烯、柠檬烯、长叶烯和 4-甲基-2，6-二叔丁基苯酚的混合物对松墨天牛雌虫具有驱避作用，有望开发出一类新的驱避剂。

关键词：松墨天牛；虫粪；挥发物；触角电位反应；驱避作用
中图分类号：Q966 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2008)03-0284-06

EAG responses of *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae) to volatiles from larval frass and the repellency tests in fields

LI Shui-Qing[1,2], ZHANG Zhong-Ning[2,*] (1. College of Chemistry and Environmental Engineering, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434023, China; 2. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: For screening a deterrent to *Monochamus alternatus* Hope, electroantennogram (EAG) responses of the females and males of *M*. *alternatus* to volatiles from larval frass were measured, and field tests of hexane extracts of larval frass and mixtures of each compound identified from larval frass were carried out. EAG tests showed that α-pinene, β-pinene, 3-carene, limonene and longifolene all elicited EAG responses to the females and males of *M*. *alternatus* in different degrees. Butylated hydroxytoluene did not elicit EAG responses of the both sexes. Field tests showed that females gnawed significantly fewer oviposition scars on *Pinus massoniana* trees treated with hexane extracts of larval frass than on the control trees. Mean catch of females in traps with mixtures of synthetic compounds (3.80 ± 1.02) was significantly fewer than those in the control traps (16.80 ± 1.16). These results suggested that hexane extracts of larval frass and mixtures of α-pinene, β-pinene, 3-carene, limonene, longifolene and butylated hydroxytoluene can deter the females of *M*. *alternatus* and may be applied in management of this pest.

Key words: *Monochamus alternatus*; frass; volatiles; electroantennogram response; deterrent effect

植食性昆虫的卵和幼虫的存在对同种昆虫的产卵行为具有调节作用。雌性成虫避免在已经有卵和幼虫的寄主上产卵，这种行为策略有利于减少后代之间的竞争。雌性成虫是通过感知信息化学物质来

基金项目：中国科学院知识创新工程重大项目（KSCX1-SW-13）

作者简介：李水清，男，1969 年生，湖北人，博士，主要从事昆虫化学生态学研究，E-mail：shuiqing2000@163.com

[*] **通讯作者** Author for correspondence, E-mail：zhangzn@ioz.ac.cn

收稿日期 Received：2007-08-29；**接受日期** Accepted：2007-12-09

鉴别已占用和未占用的寄主资源，从而选择最佳的产卵地点的（Dempster，1992；Mudd *et al*.，1997；Li *et al*.，2001）。这些信息化学物质可能来自于同种昆虫的卵（Anbutsu and Togashi，1996，1997）、幼虫（Anbutsu and Togashi，1996）及幼虫的虫粪（Dittrick *et al*.，1983；Anderson *et al*.，1993）。对于鳞翅目昆虫，已有与幼虫虫粪有关的产卵驱避剂的报道，如取食棉花叶片的海灰翅夜蛾 *Spodoptera littoralis* Boisd. 幼虫的虫粪对其成虫的产卵具有强烈的驱避作用，Anderson 等（1993）从海灰翅夜蛾幼虫的虫粪中鉴定出了生物活性化合物苯甲醛、香芹酚、丁子香酚、橙花叔醇、叶绿醇和麝香草酚等 6 种化合物，这 6 种化合物以在虫粪中的比例混合对雌虫的产卵行为具有驱避作用；且这 6 种化合物彼此具增效作用，除去任何一个化合物，产卵驱避活性随即消失。欧洲玉米螟 *Ostrinia nubilalis* Hübner 幼虫虫粪的甲醇提取物对同种雌性成虫的产卵具有驱避作用（Dittrick *et al*.，1983）。Li 和 Ishikawa（2004）从刺菜螟 *Ostrinia zealis*、亚洲玉米螟 *O. furnacalis*、豆螟 *O. scapulalis* 及 *O. latipennis* 4 种鳞翅目昆虫的幼虫虫粪中鉴定出了挥发性的产卵驱避组分：软脂酸、硬脂酸、油酸、亚油酸和亚麻酸。在鞘翅目昆虫中，北美家天牛幼虫虫粪的己烷提取物在风洞实验中对两性成虫的行为反应具有明显的影响（Fettköther *et al*.，2000）。Birch 等（1977）从雄性加州齿小蠹 *Ips confuses* 成虫的粪便中分离鉴定了小蠹烯醇（ipsenol）、小蠹二烯醇（ipsdienol）和顺-马鞭草烯醇（*cis*-verbenol），嗅觉仪试验表明，这 3 种化合物对同种昆虫的两性成虫具有吸引作用。稻一点螟虫 *Scripophaga incertulas* Walker 和葡萄小卷叶蛾 *Lobesia botrana* Den. & Schiff. 的幼虫虫粪中所含的信息化学物质却是利它素，分别有利于稻螟赤眼蜂 *Trichogramma japonicum* Ashmead 和黑青金小蜂 *Dibrachys cavus* Walker 的寄生（Chuche *et al*.，2006；Rani *et al*.，2007）。

松墨天牛 *Monochamus alternatus* Hope 是松材线虫 *Bursaphelenchus xylophilus* 的主要媒介昆虫。松材线虫曾引起日本赤松和黑松的大量死亡（Mamiya and Enda，1972）。在感染了松材线虫的林间，松墨天牛喜好在枯死的病木上产卵。翌年，松墨天牛成虫携带松材线虫从病木中羽化，扩散。在补充营养期间，松材线虫通过松墨天牛的食痕进入健康的松树而完成侵染循环（Anbutsu and Togashi，2001）。松材线虫病在我国最早发现于南京（胡学兵等，1997）。目前，该病害已广泛分布于安徽、广东、江苏、浙江、山东等省分，引起了大量的马尾松枯死。由于松墨天牛是松材线虫的主要媒介昆虫，因此，研究松墨天牛的控制方法将有效遏制松材线虫的扩散和蔓延。目前，关于松墨天牛的防治方法主要有生物控制（Shimazu，1994；Shimazu and Sato，2003）、杀虫剂应用（Togashi，1990）及引诱剂诱捕（Ikeda *et al*.，1980），等等。

目前已有一些关于松墨天牛产卵驱避的报道，如 Anbutsu 和 Togashi（1996）的研究表明，松墨天牛的产卵刻槽、卵及幼虫的存在驱避其他雌虫的产卵；Anbutsu 和 Togashi（2002）还研究了松墨天牛幼虫虫粪及其甲醇提取物对松墨天牛的产卵驱避作用。本研究通过试验松墨天牛幼虫虫粪挥发性物质的电生理反应及林间驱避试验，以期为松墨天牛的生物防治提供一种新的策略。

1　材料与方法

1.1　试剂和仪器设备

α-蒎烯（98%）、柠檬烯（92%）、4-甲基-2，6-二叔丁基苯酚（≥99.8%）由美国 New Jersey 生产；β-蒎烯（>95%）、3-蒈烯（>90%）由日本 Tokyo Kasei Kogyo Co. Ltd 制造；长叶烯（≥99%）为瑞士 Sigma-Aldrich Chemie 产品。PA-28 松墨天牛诱木剂由广东省林业科学研究院森林保护研究所研制；蛀干类害虫引诱剂为宁波中化化学品有限公司生产。10 mL 小释放瓶由北京中捷四方科贸有限公司提供。

将 α-蒎烯、β-蒎烯、3-蒈烯、柠檬烯、长叶烯及 4-甲基-2，6-二叔丁基苯酚以液体石蜡为溶剂配制成 0.1，1，10，100 μg/μL 4 种浓度梯度，每次将 10 μL 的样品滴于滤纸条上，使刺激剂量分别为 1，10，100，1 000 μg（闫争亮等，2004）。

1.2　供试昆虫

在安徽省宣城市敬亭山山南茶场，将前一年设置的诱木伐下，解剖树干，获得老熟幼虫带回室内以人工饲料饲养，人工饲料由中国林业科学研究院提供。饲养条件：温度 25℃，光照 16∶8（L∶D）。待幼虫羽化后在培养皿中以马尾松嫩枝喂养，15 天后测定触角电位。

1.3　幼虫虫粪

在枯死的马尾松病木上收集松墨天牛幼虫虫粪，尽可能除去植物组织，将幼虫虫粪在分析纯正己烷中浸泡 48 h，过滤。每 1 g 幼虫虫粪的提取物浓缩至 1 mL（1 mL/g 幼虫虫粪）和 2 mL（2 mL/g 幼虫虫

粪）2 种浓度，－20℃储存备用。

1.4 触角电位(EAG)记录

将松墨天牛的一根触角自基部切下，在双目实体显微镜(Olympus 273059)下，将参考电极插入触角的基部，记录电极套在触角的端部。玻璃电极由毛细管拉制而成。毛细管内径 0.2 mm，在玻璃电极内注射适量的电生理盐水。将直径为 0.2 mm 的银-氯化银电极插入玻璃电极中，银-氯化银电极装在微动操作仪(Syntech MP-15)上，后者连接有直流/交流放大器(Syntech UN-06)，刺激放大器(Syntech CS-05)和计算机。用 Syntech 软件记录数据。将 10 μL 样品溶液均匀滴在长 6 cm、宽 0.5 cm 的滤纸条上，放入巴斯德滴管中，滴管末端连接气体刺激控制装置，送气管管口与触角纵向垂直，并与触角相距 10 mm 左右。调节连续气体流量为 124 mL/min；刺激气体流量为 20 mL/min。每次刺激时间为 0.1 s。两次刺激之间间隔 30 s，以保证触角感觉器官功能的完全恢复。同一化合物同一剂量在一根触角上重复刺激 3 次，至少重复试验 6 根触角。对于每一样品化合物，刺激顺序为空白对照、样品低浓度到高浓度、空白对照。

1.5 林间驱避试验

1.5.1 松墨天牛幼虫虫粪提取物的驱避试验：用 PA-28 松墨天牛诱木剂设置饵木，饵木间距大于 50 m。将松墨天牛幼虫虫粪提取物装于 10 mL 小释放瓶中，然后将释放瓶悬挂在离地面约 1.5 m 的树干上。设 2 个浓度处理，即 1 mL/g 幼虫虫粪、2 mL/g 幼虫虫粪 2 种浓度。用己烷溶剂作对照。处理和对照各重复 5 次，随机排列。15 天后调查离地面 2 m 树干上的刻槽数，比较驱避效果。

1.5.2 混合化合物的驱避试验：将 α-蒎烯、β-蒎烯、3-蒈烯、柠檬烯、长叶烯和 4-甲基-2,6-二叔丁基苯酚按幼虫虫粪中的比例混合，即每 20 mL 正己烷溶液中含 α-蒎烯 27.6 μg、β-蒎烯 10.4 μg、3-蒈烯 2.6 μg、柠檬烯 3.5 μg、长叶烯 4.4 μg、4-甲基-2,6-二叔丁基苯酚 43.2 μg(Li and Zhang, 2006)制成试验用混合物。将上述混合物装于 10 mL 小释放瓶，小释放瓶固定在诱捕器上，旁边固定另一装有蛀干类害虫引诱剂的小释放瓶。以只放置蛀干类害虫引诱剂的诱捕器为对照。将诱捕器用铁丝固定在离地约 1.5 m 的空中，诱捕器的下端用绳子固定。处理和对照各重复 5 次，随机排列。诱捕器之间相距 50 m 以上。每隔 4～5 天调查诱捕器所诱捕到的松墨天牛的数目，持续 30 天。分别雌雄记录，比较驱避效果。

1.6 数据分析和处理

统计分析用 SPSS11.0 完成。对同一化合物不同刺激剂量所获得的 EAG 反应幅度的绝对值及林间驱避试验数据用 ANOVA 进行分析，用独立样本 t 检验方法检验雌雄间的差异显著性，$P < 0.05$ 为具有显著差异。

2 结果与分析

2.1 松墨天牛对幼虫虫粪挥发物的触角电位反应

松墨天牛对幼虫虫粪挥发物的触角电生理反应见图 1(A～E)。从实验结果可以看出，试验挥发物均能引起松墨天牛雌雄成虫一定的触角电生理反应。但总的来说，各化合物引起的松墨天牛的触角电位反应较弱。对每一个化合物的不同刺激剂量而言，触角电位反应都随浓度的增大而增强。*T*-检验表明，3-蒈烯在1 000 μg，10 μg 刺激剂量下，β-蒎烯在 100 μg 刺激剂量下，引起松墨天牛雌雄成虫的触角电位反应存在性别差异。松墨天牛雌雄成虫对其它化合物的各刺激剂量并没有表现出性别差异，均能同等程度地感觉刺激化合物的存在。4-甲基-2,6-二叔丁基苯酚不能引起松墨天牛雌雄成虫的触角电生理反应。

2.2 松墨天牛幼虫虫粪提取物的驱避试验结果

松墨天牛幼虫虫粪己烷提取物的驱避活性见图 2，在不同处理之间及各处理与对照之间存在极显著差异。

2.3 混合化合物的驱避试验结果

混合化合物的驱避试验结果见表 1，放置有混合化合物的诱捕器中所诱到的松墨天牛雌虫数量比对照少，经统计分析，差异达到显著水平；而诱到的雄虫数二者之间差异不显著。这说明，混合化合物对松墨天牛雌虫具有驱避作用。*T*-检验表明，混合化合物对松墨天牛的驱避作用雌雄间具有差异显著性，即主要驱避产卵期的松墨天牛雌虫，而对性成熟期的松墨天牛雄虫没有驱避作用。

3 结论与讨论

具有物种特异性的化学信息物质在昆虫的生境选择、交配定位和种群分布过程中起着重要作用。研究化学信息物质对昆虫的 EAG 反应活性有利于筛选生物活性化合物，为害虫的综合治理提供有效的生态防治方法。本文研究表明，幼虫虫粪的挥发

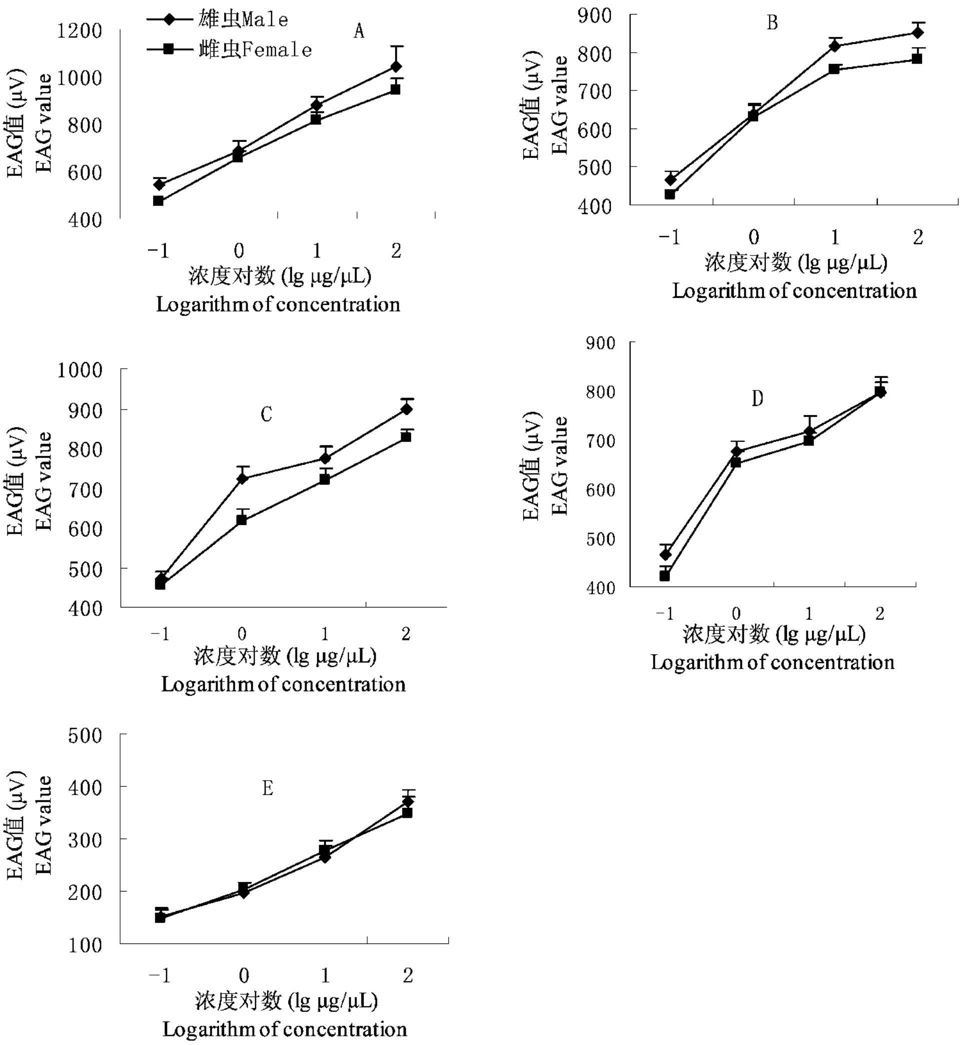

图1 松墨天牛对幼虫虫粪挥发物的EAG反应

Fig. 1 EAG responses of *Monochamus alternatus* to volatiles from larval frass

A：α-蒎烯 α-pinene；B：β-蒎烯 β-pinene；C：3-蒈烯 3-carene；D：柠檬烯 Limonene；E：长叶烯 Longifolene.

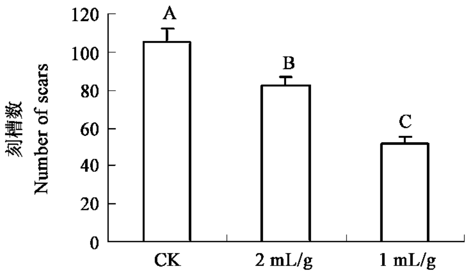

图2 松墨天牛幼虫虫粪提取物林间驱避试验

Fig. 2 The influence of larval frass extracts on oviposition behaviour of *Monochamus alternatus* in fields

柱上不同大写字母表示数据经Duncan新复极差检验差异极显著($P < 0.01$)。The capital letters above the columns mean significant difference at the level of 0.01 by Duncan's multiple range test.

性物质中，除4-甲基-2,6-二叔丁基苯酚无电生理活性外，其他几种挥发物均能引起松墨天牛雌雄成虫触角的电生理反应，但刺激反应总体较弱。大部分试验挥发物对松墨天牛雌雄成虫的触角电位反应无性别差异，只有3-蒈烯、β-蒎烯在特定的刺激剂量下才表现出性别差异。

昆虫能根据某些化学信号判断产卵地点是否合适，从而避免卵和幼虫的过分集中，从而缓解幼虫和成虫食物竞争及相互咬食的矛盾。昆虫的这种空间分布机制一般是由卵和幼虫所发出的化学信号来调节的(Nufio and Papaj，2001)。许多种类的昆虫通过视觉或嗅觉来感知同种昆虫的卵和幼虫所产生的化学信号，相应地调整产卵地点(Williams and Gilbert，1981；Li *et al*.，2001)。有研究表明，某些昆虫的卵本身就存在信息素，这些信息素的作用就是避免其它同种昆虫在邻近的区域产卵(Averill and Prokopy，1987；Messina *et al*.，1987)。对一些植食性昆虫来

表 1 混合化合物的田间应用效果

Table 1 The deterrent effect of mixture of volatiles on *M. alternatus* in fields

处理 Treatments	诱捕虫数(头) Mean catch/trap		雌雄差异性 T 检验
	♂	♀	T-test between male and female
混合化合物 Mixture of volatiles	9.60 ± 1.36 a	3.80 ± 1.02 b	** ($P = 0.010$)
对照 CK	12.20 ± 1.16 a	16.80 ± 1.16 a	ns ($P = 0.023$)

表中数据为平均值 ± 标准误;同一列数据后有相同字母者表示经 Duncan 新复极差检验差异不显著($P > 0.05$)。The data in the table are mean ± *SE*, and those followed by the same letter are not significantly different at the level of 0.05 by Duncan's multiple range test.

说,幼虫虫粪能驱避昆虫在其寄主上重复产卵。幼虫虫粪的产卵驱避活性已在一些昆虫种类得到证实,如菠萝褐灰蝶 *Thecla basilides*(Rhainds *et al*., 1996),海灰翅夜蛾 *Spodoptera littoralis*(Anderson *et al*., 1993),黄地老虎 *Agrotis segetum*(Anderson and Lofqvist, 1996)等。存在于幼虫虫粪中的具有产卵驱避活性的化合物有的直接来源于植物本身,是未经任何化学变化的植物组分;有的是通过幼虫生物合成而来(Mitchell and Heath, 1985;Hilker and Klein, 1989)。

Shibata(1984)报道,松墨天牛的产卵刻槽、卵、幼虫、幼虫的蛀道及羽化孔在寄主上都是均匀分布的。这种空间分布机制在繁衍后代,减少种内竞争方面具有重要的生物学意义。松墨天牛雌虫喜欢在枯死的或刚伐倒的松木及感染了松材线虫的松树上产卵(Ikeda *et al*., 1980)。首先,性成熟的雌虫在松树的树皮上寻找合适的产卵地点,然后用其下颚在树皮表面咬一个椭圆形的产卵刻槽,将产卵器插入刻槽产卵。产完卵后,雌虫用一种淡黄色的冻状物填充产卵刻槽,并用其腹部反复触摸刻槽。研究表明,这种淡黄色的冻状物来源于雌虫的受精囊腺,冻状物的甲醇提取物和雌虫的生殖器官的甲醇提取物都能驱避松墨天牛产卵(Anbutsu and Togashi, 2001)。Li 等(2007)研究表明,一些非寄主的挥发物和来源于植物的化学物质如留兰香精油、橙花叔醇、桉树油、尼古丁等对松墨天牛的产卵也具有驱避作用。李水清等(2005)认为鱼藤酮对松墨天牛的取食、产卵行为也具有一定的驱避作用。

通过 GC-MS,我们已从幼虫虫粪的己烷提取物中鉴定出 α-蒎烯、β-蒎烯、3-蒈烯、柠檬烯、长叶烯和 4-甲基-2,6-二叔丁基苯酚,并对它们在虫粪中的含量进行了定量测定(Li and Zhang, 2006)。用合成化合物定量组成的混合物的室内生物活性试验结果表明,5 种萜烯类化合物和酚类化合物组成的混合物对松墨天牛产卵具有驱避作用,而萜烯类或酚类单独使用并不能驱避松墨天牛产卵(Li and Zhang, 2006)。松墨天牛幼虫虫粪中具有产卵驱避作用的活性化合物的来源尚不清楚。我们推测,5 个萜烯类化合物可能是由于寄主受到松墨天牛的为害如产卵、幼虫取食引起的植物组织的损伤而产生的具有特定组成的挥发性气味,然后被幼虫虫粪所吸附。4-甲基-2,6-二叔丁基苯酚可能是来自寄主植物,在幼虫体内富集,作为信息化学物质进行种内通讯。此正如 Mitchell 和 Heath(1985)的报道:一些产卵驱避组分就是来源于植物中的化学物质,而不是昆虫产生的代谢产物。

产卵驱避剂在害虫的综合治理方面起着非常重要的作用。Katsoyannos 和 Boller(1976)报道了他们在田间成功地应用产卵驱避剂防治果实蝇。通过林间驱避试验,我们证实了松墨天牛幼虫虫粪中鉴定的 6 个化合物的混合物对松墨天牛雌虫具有驱避作用,这与室内试验的结果是一致的,如将松墨天牛的产卵驱避剂应用在由于感染松材线虫而死的病木上,可驱避松墨天牛在该病木上产卵,直接导致松墨天牛种群密度的下降,从而减少松材线虫的传播。

致谢 实验得到安徽省宣城市森防站马圣安先生和吴献春先生的大力支持,特致谢意。

参 考 文 献(References)

Anbutsu H, Togashi K, 1996. Deterred oviposition of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae) on *Pinus densiflora* bolts from oviposition scars containing eggs or larvae. *Appl. Entomol. Zool.*, 31: 481 – 488.

Anbutsu H, Togashi K, 1997. Oviposition behavior and response to the oviposition scars occupied by eggs in *Monochamus saltuarius* (Coleoptera: Cerambycidae). *Appl. Entomol. Zool.*, 32: 541 – 549.

Anbutsu H, Togashi K, 2001. Oviposition deterrent by female reproductive gland secretion in Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus*. *J. Chem. Ecol.*, 27: 1 151 – 1 162.

Anbutsu H, Togashi K, 2002. Oviposition deterrence associated with larval frass of the Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). *J. Insect Physiol.*, 48: 459 – 465.

Anderson P, Hilker M, Hansson BS, Bombosch S, Klein B, Schildknecht H, 1993. Oviposition deterring components in larval frass of *Spodoptera littoralis* (Boisd.) (Lepidoptera: Noctuidae): a behavioural and electrophysiological evaluation. *J. Insect Physiol.*, 39: 129 – 137.

Anderson P，Lofqvist J，1996. Oviposition deterrents from potato，wheat germ，larval frass，and artificial diet for *Agrotis segetum*（Lepidoptera：Noctuidae）. *Environ*. *Entomol*.，25：653 – 658.

Averill AL，Prokopy RJ，1987. Residual activity of oviposition-deterring pheromone in *Rhagoletis pomonella*（Diptera：Tephritidae）and female response to infested fruit. *J*. *Chem*. *Ecol*.，13：167 – 177.

Birch MC，Tilden PE，Wood DL，Browne LE，Young JC，Silverstein RM，1977. Biological activity of compounds isolated from air condensates and frass of the bark beetle，*Ips confuses*. *J*. *Insect Physiol*.，23：1 373 – 1 376.

Chuche J，Xuéreb A，Thiéry D，2006. Attraction of *Dibrachys cavus*（Hymenoptera：Pteromalidae）to its host frass volatiles. *J*. *Chem*. *Ecol*.，32：2 721 – 2 731.

Dempster JP，1992. Evidence of an oviposition-deterring pheromone in the orange-tip butterfly，*Anthocharis cardamines*（L.）. *Ecol*. *Entomol*.，17：83 – 85.

Dittrick LE，Jones RL，Chiang HC，1983. An oviposition deterrent for the European corn borer，*Ostrinia nubilalis*（Lepidoptera：Pyralidae），extracted from larval frass. *J*. *Insect Physiol*.，29：119 – 121.

Fettköther R，Reddy GVP，Noldt U，Dettner K，2000. Effect of host and larval frass volatiles on behavioural response of the old house borer，*Hylotrupes bajulus*（L.）（Coleoptera：Cerambycidae），in a wind tunnel bioassay. *Chemoecology*，10：1 – 10.

Hilker M，Klein B，1989. Investigation of oviposition deterrent in larval frass of *Spodoptera littoralis*（Boisd）. *J*. *Chem*. *Ecol*.，15：929 – 938.

Hu XB，Qu T，Zheng H，1997. Strategy to control *Bursaphelenchus xylophilus* in China. *Forest Pest and Disease*，（3）：30 – 32.［**胡学兵，曲涛，郑华**，1997. **试论我国松材线虫病的防治对策**. **森林病虫通讯**，（3）：30 – 32］

Ikeda T，Enda N，Yamane A，Oda K，Toyoda T，1980. Attractants for Japanese pine sawyer，*Monochamus alternatus* Hope（Coleoptera：Cerambycidae）. *Appl*. *Entomol*. *Zool*.，15：358 – 361.

Katsoyannos BI，Boller EF，1976. First field application of oviposition-deterring marking pheromone of European cherry fruit fly. *Environ*. *Entomol*.，5：151 – 152.

Li GQ，Han ZJ，Mu LL，Qin XR，Chen CK，Wang YC，2001. Natural oviposition-deterring chemicals in female cotton bollworm，*Helicoverpa armigera*（Hübner）. *J*. *Insect Physiol*.，47：951 – 956.

Li GQ，Ishikawa Y，2004. Oviposition deterrents in larval frass of four *Ostrinia* species fed on an artificial diet. *J*. *Chem*. *Ecol*.，30：1 445 – 1 455.

Li SQ，Zhang ZN，2006. Influence of larval frass extracts on the oviposition behaviour of *Monochamus alternatus*（Col.，Cerambycidae）. *J*. *Appl*. *Entomol*.，130（3）：177 – 182.

Li SQ，Fang YL，Zhang ZN，2007. Effects of volatiles of non-host plants and other chemicals on oviposition of *Monochamus alternatus*（Coleoptera：Cerambycidae）. *Journal of Pest Science*，80（2）：119 – 123.

Li SQ，Sun JH，Zhang ZN，2005. Effects of rotenone on oviposition and feeding of *Monochamus alternatus* Hope（Coleoptera：Cerambycidae）. *Acta Entomol*. *Sin*.，48（5）：687 – 691.［**李水清，孙江华，张钟宁**，2005. **鱼藤酮对松墨天牛产卵和取食行为的影响**. **昆虫学报**，48（5）：687 – 691］

Mamiya Y，Enda N，1972. Transmission of *Bursaphelenchus lignicolus*（Nematode：Aphelenchoididae）by *Monochamus alternatus*（Coleoptera：Cerambycidae）. *Nematologica*，18：159 – 162.

Messina FJ，Barmore JL，Renwick JAA，1987. Oviposition deterrent from eggs of *Callusobruchus maculatus*：spacing mechanism or artefact？*J*. *Chem*. *Ecol*.，13：219 – 226.

Mitchell ER，Heath RR，1985. Influence of *Amaranthus hybridus* L. allelochemics on oviposition behavior of *Spodoptera exigua* and *Spodoptera eridania*（Lepidoptera：Noctuidae）. *J*. *Chem*. *Ecol*.，11：609 – 618.

Mudd A，Ferguson AW，Blight MM，Williams IH，Scubla P，Solinas M，Clark SJ，1997. Extraction，isolation，and composition of oviposition-deterring secretion of cabbage seed weevil *Ceutorhynchus assimilis*. *J*. *Chem*. *Ecol*.，23：2 227 – 2 240.

Nufio CR，Papaj DR，2001. Host marking behavior in phytophagous insects and parasitoids. *Entomol*. *Exp*. *Appl*.，99：273 – 293.

Rani PU，Kumari SI，Sriramakrishna T，Sudhakar TR，2007. Kairomones extracted from rice yellow stem borer and their influence on egg parasitization by *Trichogramma japonicum* Ashmead. *J*. *Chem*. *Ecol*.，33：59 – 73.

Rhainds M，Gries G，Morales JL，1996. Oviposition deterrency in pineapple borer females，*Thecla basilides*（Lepidoptera：Lycaenidae）. *Ecol*. *Entomol*.，21：105 – 106.

Shibata E，1984. Spatial distribution pattern of the Japanese pine sawyer，*Monochamus alternatus* Hope（Coleoptera：Cerambycidae），on dead pine trees. *Appl*. *Entomol*. *Zool*.，19：361 – 366.

Shimazu M，1994. Potential of the Cerambycid-parasitic type of *Beauveria brongniartii*（Deuteromycotina：Hyphomycetes）for microbial control of *Monochamus alternatus* Hope（Coleoptera：Cerambycidae）. *Appl*. *Entomol*. *Zool*.，29：127 – 130.

Shimazu M，Sato H，2003. Effects of larval age on mortality of *Monochamus alternatus* Hope（Coleoptera：Cerambycidae）after application of nonwoven fabric strips with *Beauveria bassiana*. *Appl*. *Entomol*. *Zool*.，38：1 – 5.

Togashi K，1990. Effects of aerial application of insecticide on the survival rate *Monochamus alternatus*（Coleoptera：Cerambycidae）within *Pinus densiflora* logs. *Appl*. *Entomol*. *Zool*.，25：187 – 197.

Williams KS，Gilbert LE，1981. Insects as selective agents on plant vegetative morphology：egg mimicry reduces egg laying by butterflies. *Science*，212：467 – 469.

Yan ZL，Fang YL，Sun JH，Zhang ZN，2004. Identification and electroantennal olfactory and behavioral tests of hindgut-produced volatiles of the red turpentine beetle，*Dendroctonus valens* LeConte（Coleoptera：Scolytidae）. *Acta Entomol*. *Sin*.，47（6）：695 – 700.［**闫争亮，方宇凌，孙江华，张钟宁**，2004. **红脂大小蠹后肠挥发性物质的鉴定、触角电位和室内趋向实验**. **昆虫学报**，47（6）：695 – 700］

（责任编辑：袁德成）